机会公平在早期加工阶段影响个体实际结果的评价

尤婷婷 张利平 祁国梅 龙长权[1]

（西南大学心理学部，重庆 400715）

摘 要 以往的研究表明，机会公平会影响个体实际结果的评价，但尚不清楚这种影响是仅发生在早期阶段还是同时发生在早期和晚期阶段。本研究采用事件相关电位技术，控制主观预期与实际预期的差异以及个体机会数的变化，并进行主成分分析以控制脑电成分的重叠，探讨了在竞争情境中，机会公平影响个体实际结果评价的认知加工进程。实验采用 3 (机会条件：有利机会不公平、机会公平、不利机会不公平) ×3 (实际结果：赢、平局、输)被试内实验设计。行为结果表明，机会公平和个人实际结果在愉悦感评分上存在显著交互作用，表明机会公平会影响个体对实际结果的评价。ERP 结果表明，当被试赢时，三种机会条件诱发的原始 FRN 和 PCA-FRN 波幅无显著差异；当被试输时，AI 和 DI 比 OE 诱发了更负的原始 FRN 和 PCA-FRN 波幅，表明机会公平在认知加工的早期阶段影响个体实际结果的评价，当处境不利时，个体对机会公平更加敏感。同时，机会条件不影响原始 P300 和 PCA-P300 波幅，平局比输和赢诱发了更大的 PCA-P300 波幅，这表明在个体实际结果评价的晚期加工阶段，更重视结果公平，对公平的结果投入了更多的注意资源。这些结果表明机会公平对个体实际结果评价的影响主要发生在早期阶段，支持了“人们对结果公平的关注强于机会公平”这一假说。

关键词 公正，平局，FRN，P300，主成分分析

1 前言

公平正义是中国特色社会主义的内在要求。党的十九大报告 12 次指出公平问题，党的二十大报告 13 次提出公平问题，报告一再强调公平正义是人民日益增长的需要，是中国特色社会主义的内在要求。习近平总书记高度重视社会公平正义，并针对这一问题发表了一系列重要讲话，形成了习近平新时代中国特色社会主义思想中的公平正义观。人们在社会交往中显著偏好公平正义，追求社会公平。研究发现，当个体或他人遭受不公平对待时，会表现

---

[1]收稿日期: 2022-09-25

教育部人文社会科学研究规划青年基金（18YJC190015）。

通讯作者: 龙长权, E-mail: lcq@swu.edu.cn

出不满和怨恨，有时宁愿牺牲自己的利益来惩罚对方，以实现公平 (Chen et al., 2023; Yang et al., 2022)。

社会公平包括两个维度：结果公平和机会公平 (Aoki et al., 2014; 2015)。结果公平是指社会生活中同等付出的个体获得同等的结果。例如做了同样工作的雇员从雇主那里得到的工资是否一致(罗艺等, 2013)。机会公平是指人们拥有同等的参与权利和争取机会，以获得满意的结果 (Long et al., 2022; Yang et al., 2022)。如在住房、教育及政治参与等方面拥有平等的机会。机会公平的关键特征是机会公平不保证结果公平 (Aoki et al., 2015; Long et al., 2022)。

以往的研究大多关注结果公平，而对机会公平的了解相对较少 (Aoki et al., 2015; Long et al., 2022;Yang et al., 2022)。与结果公平一样, 机会公平也是现代社会普遍推崇的社会目标，并在医疗保健、社会福利、教育、政治参与和生活满意度等方面有深远的影响 (Aoki et al., 2015)。例如，Vicente 等 (2021)认为，增加教育机会公平可以增强学生的挫折抵抗力，提高人口素质，加快国家发展。党的二十大报告也指出，要促进机会公平。

机会公平和结果公平之间既存在一些相似性，也存在一些差异。在最近的一项研究中，Yang 等 (2022)直接比较了被试对机会公平和结果公平的评价，发现人们对机会公平的评价在以下几个方面与结果公平表现出了相似性：(1) 人们也同样厌恶机会不公平，表现出对公平的偏好；(2) 人们也会以牺牲自己的利益为代价，拒绝机会不公平的提议；(3) 在损失背景下 (对债务进行分配)人们体会到的不公平感，显著强于获得 (对奖励进行分配)背景下人们体会到的不公平感。同时，他们的研究也揭示了机会公平和结果公平之间的一些差异。例如，他们发现，与机会公平相比，人们更致力于结果公平。在他们的研究中，人们对机会不公平的接受率显著高于结果不公平；人们对机会不公平的公平感也显著高于结果不公平的公平感。关于机会公平和结果公平脑激活的研究也揭示了两种类型的社会公平之间可能存在差异。Aoki 等 (2014)首次采用功能性核磁共振成像 (fMRI)技术，在双人选牌任务中测量了机会公平加工的大脑激活，结果发现个体对机会公平加工的脑区位于腹内侧前额叶。Feng 等 (2015)对结果公平的 fMRI 研究进行了元分析，发现结果公平激活多个大脑区域，包括前脑岛、腹内侧前额叶、背侧前扣带回、背外侧前额叶、腹外侧前额叶和背内侧前额叶。不过，由于两者所涉及的任务不同，尚不清楚这种差异是由任务的差异引起的，还是由机会公平和结果公平的差异引起的。

以前关于机会公平的研究表明，机会公平会影响个体实际结果的评价。例如，采用一项非竞争性任务 (即个体实际结果的输赢并不依赖于对手的表现)，Yang 等 (2022)发现在机会

公平条件下，个人实际结果出现之前和出现之后的公平感都没有显著差异。然而，在不利机会不公平条件下，当自己的实际结果是好的时候，无论对手的结果是好还是坏，个人实际结果出现之后的公平感均比出现之前显著增加。当自己的结果是坏，同时对手的结果也是坏的情况下，个人实际结果出现之后的公平感均比出现之前显著增加。但是，当自己的结果是坏，同时对手的结果是好的情况下，实际结果出现之前和出现之后的公平感之间不存在显著差异。这些结果显示机会公平影响个体实际结果的 (公平感)评价。

一些研究通过事件相关电位 (event-related potentials, ERPs) 技术，进一步探讨了机会公平如何以及何时影响个体实际结果评价，因为 ERPs 技术可以在毫秒级时间精度上跟踪认知加工过程 (Luck, 2014)。Long 等 (2022)报告了在非竞争条件下，机会公平影响个人实际结果评级的 ERP 反应 (见他们的补充材料)。在他们的报告中，当个体实际结果出现后，机会公平会影响 P2 (刺激出现 100~200 ms 后诱发的、发生在大脑前部的正偏转) 和 FRN (feedback related negativity, 刺激出现 200~400 ms 后诱发的、发生在大脑前部的负偏转。也被称为 medial frontal negativity (MFN), 或者 reward positivity (RewP)) 波幅。但是，机会公平并不影响个体实际结果诱发的 P300 (刺激出现 300~600 ms 后诱发的正偏转)。Leng 和 Zhou (2010)认为，在结果评价加工过程中，FRN 代表了早期的半自动化的初级加工，P300 代表了晚期的精确的深度加工。在 Long 等 (2022) 的研究中，P2 比 FRN 出现的时间更早。因此，Long 等 (2022)的结果表明，在非竞争条件下，机会公平对个体实际结果评价的影响发生在早期阶段，而对晚期阶段没有显著影响。这一结果表明人们在实际结果评价的晚期阶段更关注实际结果本身，该结果进一步支持了 Yang 等 (2022)提出的人们对结果公平的关注强于机会公平这一假设。

然而，Long 等 (2018)发现，在竞争条件下，机会公平不仅影响个体实际结果评价的早期阶段，也影响晚期阶段。在这项 ERP 研究中，实验采用双人掷骰子任务。被试掷骰子的次数可能有一次、两次或三次，而对方掷骰子的次数被固定为两次。根据双方掷骰子次数的相对差异，机会公平性被分为三个条件：有利机会不公平 (advantage opportunity inequity, AI, 被试掷骰子的次数多于对方)、机会公平 (opportunity equity, OE, 双方掷骰子的次数相同)和不利机会不公平 (disadvantage opportunity inequity, DI, 被试掷骰子的次数少于对方)。在每个试次中，当被试所有骰子中的最大点数比对手所有骰子中的最大点数大时，被试赢，否则为输。此时，个体的实际结果依赖于对手的表现，表现为竞争性环境。他们的结果发现，DI 诱发的 FRN 波幅显著大于 OE 和 AI；同时，他们也发现，机会条件和个体实际结果在诱发的 P300 波幅上存在显著的交互作用。当被试赢时，OE 诱发的 P300 波幅显著小于 AI 和

DI。当被试输时，三种机会条件诱发的 P300 波幅之间不存在显著差异。他们的这一研究结果表明，在竞争背景下，机会公平会同时影响个体实际结果评价的早期和晚期过程。

但是，Long 等 (2018)的研究存在一些局限性，这些局限可能对他们的研究结论产生了影响。首先，Long 等 (2018)没有控制每个机会公平条件下的预期收益。在该研究中，最终结果是由所有可用骰子掷完后产生的最大点数来确定的，这表明每个骰子对最终结果都有潜在的贡献。被试会认为他们在有利机会不公平试次中获胜的概率更高，而在不利机会不公平试次中获胜的概率更低。然而，在他们的研究中，对于每个机会条件，被试输赢的概率被人为调整为均为 50%。因此，他们观察到的 ERP 结果可能反映了预期和实际回报之间的差异 (Yang et al., 2022)。其次，Long 等 (2018)的研究中，被试的机会数会在不同的试次间发生改变。研究表明，无论机会是否决定结果，机会数的改变均显著影响个体对其实际结果的评价 (Stolz et al., 2020; Zhang et al., 2021)。最后，Long 等 (2018)没有控制 FRN 与 P300 的成分重叠问题。研究表明，在结果评价的 ERP 反应中，存在 FRN 与 P300 的成分重叠 (Krigolson, 2018)。他们的 FRN 结果可能受到 P300 的影响，而 P300 的结果也可能受到 FRN 的影响。

为了进一步研究在竞争环境下，机会公平对个体实际结果评价的影响，我们对 Long 等 (2018)的研究设计进行了改进。与 Long 等 (2018)的研究类似，本研究采用 ERP 技术，探讨在竞争性社会背景下，机会公平对个体实际结果评价的影响。实验任务为双人选牌任务。在这个任务中，为了控制结果预期，本研究与 Yang 等 (2022)的操作一致，要求双方从自己的可选牌数中仅选择一张牌。但与 Yang 等 (2022)的实验中的非竞争性社会情景 (两位参与者的结果相互独立)不同，本研究要求被试需要将自己的牌面的数字大小与对方牌面数字大小进行比较，表现为竞争性社会情景。同时为了进一步控制结果预期，与 Long 等 (2018)的研究中不同的试次之间被试的机会数会发生改变不同，在本研究中，被试的机会数被固定为 4，即被试在每个试次中的可供选牌数被固定为 4 张。他们对手的机会数不固定，可能有 2 张、4 张或 6 张牌。根据双方机会数的相对差异，机会公平性分为三个条件：有利机会不公平 (AI)、机会公平 (OE)和不利机会不公平 (DI)。考虑到生态效度，除了金钱上的输赢结果，我们还加入了平局这一可能性。因为在日常赌博游戏或竞技比赛中，平局和输赢一样，都有机会出现。为了控制结果概率对 ERP 反应的影响，在本实验中，三种可能的个体实际结果出现的概率是一样的，均为三分之一。为了控制 FRN 和 P300 的重叠，我们对 ERP 成分执行了主成分分析 (principal components analysis, PCA)，PCA 是一种通常被用来分离 ERP 成分的技术 (Krigolson, 2018)。 ERP 实验结束后，与 Yang 等 (2022)的实验操作类似，被试需要分别在个体实际结果出现之前 (反馈前)和出现之后 (反馈后)评定每种条件的公平程度。与 Yang

等 (2022)的实验操作不同，被试也需要分别在反馈前后评定每种条件的愉悦程度。

关于行为结果，在公平感方面，我们预测 OE 的公平感评级显著高于 AI 和 DI，这与 Long 等 (2018)的结果一致。我们也预测被试输时的公平感评级显著低于赢，这与结果公平的研究一致 (Yang et al., 2022)。关于个体实际结果出现前后 (反馈前后)公平感的变化，当被试赢时，我们预测反馈后比反馈前有更高的公平感评级，因为在 Yang 等 (2022)的研究中，只要被试赢了，反馈后的公平感显著高于反馈前。当结果为平局时，我们预测反馈后的公平感也显著高于反馈前，这是因为在 Yang 等 (2022) 的研究中，当被试赢了对手也赢了，或者被试输了对手也输了，相当于表现出了平局时，反馈后的公平感也显著高于反馈前。当被试输时，我们预测反馈前后公平感评级没有显著变化。因为在 Yang 等 (2022)的研究中，当被试输了而对手赢了时，反馈前后公平感评级没有显著变化。

在愉悦感方面，我们预测 OE 和 AI 的愉悦感评级显著高于 DI，这与 Long 等 (2018)的结果一致。我们预测赢的愉悦感显著高于输，与结果评价的研究结果一致 (Qi et al., 2020)。我们预测平局的愉悦感与输类似，因为关于平局的研究表明，人们对平局的反应与输类似 (Dyson et al., 2020; Holroyd et al., 2006)。关于反馈前后愉悦感的变化，我们预测当被试赢时，反馈后的愉悦感显著高于反馈前，当被试平局和输时，反馈后的愉悦感显著低于反馈前。

关于 ERP 结果，我们主要关注 FRN 和 P300。关于 FRN，我们预测被试输比赢诱发了更大的 FRN，与经典研究一致 (Holroyd & Coles, 2002)。我们也预测平局比赢诱发了更大的 FRN，这也与已有文献一致 (Dyson et al., 2020; Holroyed et al., 2006)。但是，已有文献关于研究平局和输诱发的 FRN 波幅是否存在显著差异，存在不一致的结果。一些研究发现平局或中性的反馈与输诱发的 FRN 波幅之间不存在显著差异 (Dyson et al., 2020; Hajcak et al., 2006; Holroy et al., 2006; Kujawa et al., 2013)，另一些研究则发现平局或中性的反馈比输诱发更大的 FRN 波幅 (Funkhouser et al., 2020; Huang & Yu, 2014; Li et al., 2016; Müller et al., 2005)。

基于经典的强化学习理论 (Holroyd & Coles, 2002)，Stewardson 和 Sambrook (2023)指出，FRN 研究结果的不一致，是由于 FRN 可以同时反映三种预期错误：基于效价的预期错误 (prediciton error valence)，即判断结果比预期好还是坏，但不涉及好坏的程度，这种预期错误也被称为有方向的预期错误 (signed prediciton error)；基于值的预期错误 (value prediciton error)，即结果比预期好坏程度的判断；动机凸显 (motivtional salience)的预期错误，即结果是出乎意料的或者是大的结果，这种预期错误也被称为无方向的预期错误 (unsigned prediciton error)。通过元分析，Stewardson 和 Sambrook (2023)进一步提出，基于效价的预期

错误先于基于值的预期错误发生，且基于效价的预期错误受凸显的预期错误的影响。

Hajcak 等 (2006) 和 Janssen 等 (2016)认为，FRN 反映的是实际结果好坏的快速二分判断。结合 Stewardson 和 Sambrook (2023)对 FRN 的解释，我们认为，FRN 主要反映的是效价的预期错误，根据任务的需要，进一步反映值的预期错误，且受到凸显预期错误的影响。因此，我们预测，在 AI 和 DI 条件下，输跟平局诱发的 FRN 差异不显著，这跟 Dyson 等 (2020)、Hajcak 等 (2006)、Holroy 等 (2006)和 Kujawa 等 (2013)的研究一致。而在 OE 条件下，我们预测，平局会比输诱发了更大的 FRN。因为在我们的研究中，机会公平且结果也公平的条件仅占 1/9，而其他条件下，要么机会不公平，要么结果不公平，使得 OE 条件下的平局凸显，反映了凸显的预期错误对 FRN 波幅的影响，这与 Huang 和 Yu (2014)与 Müller 等 (2005)人的研究一致。我们进一步预测，被试赢时，机会条件诱发的 FRN 波幅差异不显著。这是因为在竞争性背景下，个体的目的是赢，而赢家不抱怨竞争环境的公平性 (Xie et al., 2022; Hansson et al., 2021)。当结果为平局时，由于 OE 条件下的平局导致的凸显预期错误，OE 会诱发更大的 FRN；当被试输时，不公平机会条件 (AI 和 DI)比公平条件诱发更大的 FRN 波幅。这是因为当被试输时，个体会对公平更加敏感 (Hansson et al., 2021; Trautmann & van de Kuilen, 2016)。此时，不公平机会条件 (AI 和 DI)比公平条件诱发更大的 FRN 波幅，因为 FRN 对公平敏感 (Liu et al., 2022; Rodrigues et al., 2022; Hu & Mai, 2021)。

关于 P300，已有文献表明 P300 主要反映的是注意的分配和反馈结果的动机重要性 (Hajcak & Foti, 2020)。Yang 等 (2022) 指出，与机会公平相比，人们更致力于结果公平。因此我们预测在晚期阶段，机会公平的效应被遮蔽，被试更关注结果的公平，此时平局比赢和输诱发更大的 P300 波幅。

2 方法

2.1 被试

使用“Power ANalysis for GEneral ANOVA” 工具 (PANGEA: Judd et al., 2017; Westfall, 2016) 来确定被试量。具体来说，自定义设计指定了以下三个因子：被试 (随机和交叉)，机会条件 (固定和交叉)和实际结果 (固定和交叉)。其目的是基于三个指定的参数 (其它参数设置为默认值)来检测机会条件和个体实际结果之间的交互作用。PANGEA 显示效应量 d = 0.45，在当前设计中，每个被试在给定实验条件下的观察次数为 32 次。该分析表明，为确保 95%的统计效应量，至少需要 23 名被试。为了防止潜在的样本丢失并增加结果的稳定性，

我们有偿招募 35 名在校大学生，母语均为汉语，右利手，视力正常或矫正后视力正常，无红绿色盲和精神疾病史。其中 4 名被试由于其 ERP 伪迹试次超过 25%而被剔除 (Luck, 2014)，最后共计 31 名被试 (19 名女性)的数据纳入分析，平均年龄为 19.52 岁(SD = 1.46)。实验前，被试均提供了书面知情同意书。此外，被试被告知，他们最终的实验报酬由两部分组成：第一部分是基本奖励 (60 元)，第二部分是由所有实验结束后，随机抽取正式实验中的两个试次的结果来决定，抽到“赢”的试次增加 5 元，抽到“输”的试次减少 5 元，抽到“平局”则不加不减。因此，每个被试的最终报酬在 50~70 元之间。

2.2 实验设计、材料

采用 3 (机会条件) ×3 (个人实际结果)被试内实验设计。其中，机会条件包括三个水平：有利机会不公平 (被试有四张牌可供选择，同伴有两张牌可供选择，AI)、机会公平 (被试有四张牌可供选择，同伴也有四张牌可供选择，OE)、不利机会不公平 (被试有四张牌可供选择，同伴有六张牌可供选择，DI)。个人实际结果包括三个水平：赢 (win, W)、平局 (draw, D)、输 (loss, L)。因此，实验共包括九种条件：有利机会不公平时赢 (AI-W)、有利机会不公平时平局 (AI-D)、有利机会不公平时输 (AI-L)、机会公平时赢 (OE-W)、机会公平时平局 (OE-D)、机会公平时输 (OE-L)、不利机会不公平时赢 (DI-W)、不利机会不公平时平局 (DI-D)，不利机会不公平时输 (DI-L)。因变量为公平感评分、愉悦感评分及每种条件下诱发的脑电波波幅。

2.3 实验程序

实验前，被试会被介绍给一个同性别的陌生人 (实验助手)认识，并被告知，他们将与该同伴在不同的房间完成接下来的纸牌游戏，这两个房间会通过电脑相连。随后，被试坐在电脑屏幕前 80cm 处，开始实验。

图 1 为研究的实验程序图。首先呈现黑色“*”500 ms，然后一个空白屏将随机呈现 600~800ms。接下来，可以供被试和其同伴选择的纸牌数呈现在屏幕上，持续 1000ms，黄色数字的多少代表被试可以选择的牌数，紫色数字的多少代表游戏同伴可以选择的牌数 (例如： 黄色数字是 4，表示被试可以在 4 张牌里选一张翻开，紫色数字是 6，表示游戏同伴可以在 6 张牌里选一张翻开)，被试被告知，每张牌的牌面数字可能是 1/2/3/4/5/6/7/8 中的一种。被试事先被强调，自己的可供选牌数永远固定为 4 张牌，对方则不固定，可能是 2 张、4 张或 6 张牌。空白屏呈现后被试选牌，在此次游戏中，被试和游戏同伴分别有 8 个选牌位置，电脑在随机情况下同时向双方发牌，紫色的牌 (上排)是游戏同伴可以选择的纸牌，黄色的牌 (下排)是被试可以选择的纸牌，被试通过在键盘上按下纸牌下的数字则可以选择该纸牌

(例如：按数字键“3”意味着选择第 3 张牌)。选择完毕后，一个空白屏将随机呈现 600~800ms, 紧接着出现被试本轮选择的结果 1500ms，为了让刺激突出显示，结果颜色为红色：“+”表示被试的牌面数字更大，被试赢；“－”表示被试输；“=”表示双方牌面数字一样大，平局。空白屏之后呈现被试及其同伴的具体结果，即所选纸牌上的数字的大小，在纸牌上方，黄色的“+” “－”或“=”表示被试的输赢情况，紫色的“+”“－”或“=”表示游戏同伴的输赢情况。所有参与者共完成 288 个试次，每种机会条件为 96 个试次。在每种机会条件刺激下，三种结果可能出现的概率均为三分之一，即均出现 32 次。每 72 个试次后，被试可以进入休息时间。被试不知道的是，不同条件的试次在序列上由 E-prime 软件伪随机化，机会条件和选择结果都是预先确定的。在正式实验之前，为了让被试熟悉实验程序，我们进行了 9 次练习实验，每种条件呈现一次。练习的实验结果不记录。

脑电实验完成，被试需要分别在个体实际结果呈现前后 (反馈前后)分别评定每种条件的公平程度及愉悦程度。使用 6 点李克特量表进行评分 (1 = 非常不公平，6 = 非常公平；1 = 非常不愉悦，6 = 非常愉悦)。例如，被试在个体实际结果呈现前 (反馈前)需要评定：“看到你和对方可以选择的牌数，你觉得公平吗？”在个体实际结果呈现后 (反馈后)需要评定：“根据你和对方可以选择的牌数，看到这个结果，你觉得公平吗？”。

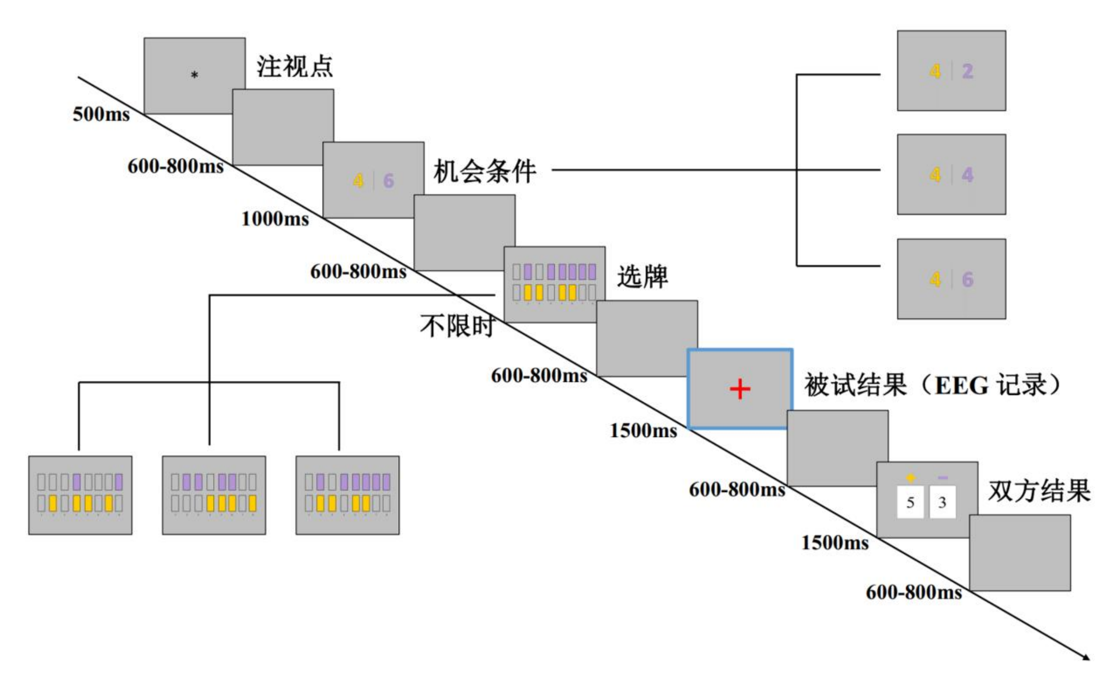


图 1 实验程序

2.4 脑电记录和预处理分析

通过使用 64 通道放大器 (Neuroscan, Herndon, VA, America)记录被试实验时的脑电数据。

电极点排布按照国际 10–20 系统的标准放置，64 个电极位点被安装在 Ag/AgCl 电极弹性帽中，参考电极置于 FCz 上。垂直眼电 (VEOG)记录的电极位于左眼眶上方和下方，水平眼电 (HEOG) 记录的电极点位于左右眼眶外缘。在线记录的采样率为 500 Hz，滤波带通为 0.01–200 Hz。在整个实验过程中，电极阻抗保持在 5 KΩ 以下。

数据离线分析是借助于 MatlabR2014b 下的 EEGLAB 工具箱 (EEGLAB v14.0.0.0b, Delorme & Makeig, 2004)和 ERPLAB 工具箱 (ERPLAB v6.0, Lopez-Calderon & Luck, 2014)。为排除低频漂移与高频噪音信号干扰，对数据采用无限脉冲响应滤波器 (IIR-Butterworth filters)进行滤波，高通阈限为 0.1 Hz，低通阈限为 20 Hz。为排除市电干扰，滤 50 Hz 陷波。采用 ICA (independent component analysis)的方法对伪迹 (眼动、眼电及肌电)进行校正，随后，使用左、右乳突的平均振幅对 ICA 校正过的数据进行重参考 (Luck, 2014)，并将数据分段。只分析个体实际结果诱发的脑电波，从反馈前 200 毫秒开始，持续反馈后 1500 毫秒。剔除脑电电压绝对值超过 ±75 μV 及滑动窗峰-峰波幅超过 65 μV 的试次。最终，AI-W 条件下平均有 29 个试次 (*SD* = 2.66)，AI-D 条件下平均有 29 个试次 (*SD* = 3.06)，AI-L 条件下平均有 29 个试次 (*SD* = 2.77)，OE-W 条件下平均有 30 个试次 (*SD* = 2.54)，OE-D 条件下平均有 30 个试次 (*SD* = 3.32)，OE-L 条件下平均有 30 个试次 (*SD* = 3.29)，DI-W 条件下平均有 29 个试次 (*SD* = 3.00)，DI-D 条件下平均有 29 个试次 (*SD* = 3.12)，DI-L 条件下平均有 29 个试次 (*SD* = 2.95)。

2.5 数据分析

行为数据分析。采用 2 (评估阶段：反馈前、反馈后) × 3 (机会条件：AI、OE、DI) × 3 (实际结果: 赢、平局、输)三因素重复测量方差分析，测量被试在实际结果呈现前后 (反馈前后)的公平感及愉悦感程度。

ERP 数据分析。关于 FRN，Sambrook 和 Goslin (2015)的元分析表明，FRN 的最佳测量时间窗口为 240~340 ms，且在 FCz 点最大。根据 Sambrook 和 Goslin (2015)和视觉观察 FRN 的头皮分布，我们在大脑头皮前中部的 F1，Fz，F2，FC1，FCz，FC2，C1，Cz 和 C2 九个电极点上，选择 240~340 ms 的平均波幅作为 FRN 波幅。为了减少统计假阳性，我们平均了这九个点上的 FRN 波幅进入下一步的统计 (Luck & Gaspelin, 2017)。关于 P300，根据以往的相关文献 (Li et al., 2010; Long et al., 2018; Zhang et al., 2021)和对地形图的观察，我们在大脑头皮前中部的 F1，Fz，F2，FC1，FCz，FC2，C1，Cz 和 C2 九个电极点上，选择 300~600 ms 的平均波幅作为 P300 波幅。同样，为了减少统计假阳性，我们平均了这九个点上的 P300 波幅进入下一步的统计。对 FRN 和 P300 波幅的统计，均采用机会条件和实际结果的两因素

重复测量方差分析。

为了排除 ERP 成分间重叠所带来的影响，本研究对数据进一步采用 PCA 分析 (Krigolson, 2018)。根据 Dien (2010)，PCA 分为两步进行：时间 (temporal) PCA 及空间 (spatial)PCA。首先，将每一时间点作为变量进行时程 PCA 的处理，对于那些对数据解释的变异超过空数据集的因子才被保留至接下来的分析。这些因子被用于 Promax rotation 的时程分析。该步骤的目的是为了让波峰发生在固定时间段的因子被保留下来，其他将作为伪迹被剔除。时程分析后的因子将进一步做 Infomax rotation 的空间 PCA 分析。在空间 PCA 分析中，电极点作为变量进行处理。根据 Dien (2010)，经过 PCA 后，数据被重新建构成由因子模式的矩阵和标准偏差构成的波形。在 PCA 的时程分析中提出了 14 个时程成分，在空间分析中提出了 7 个空间成分，共 98 个成分，解释了总变异的 89.18%。根据 Dien，Beal 和 Berg (2005)的建议，并对每个 PCA 因子上的波形进行目视检查，选择峰值电极点上的两个因子 (TF2/SF1; TF3/SF1)作进一步统计分析。表 1 显示了所选的 PCA-ERP 成分。

关于 PCA-FRN，与原始 FRN 一致，我们在前中部的 F1，Fz，F2，FC1，FCz，FC2，C1，Cz 和 C2 九个电极点上，选择 240~340 ms 的平均波幅作为 FRN 波幅。为减少假阳性，将这九个点的 PCA-FRN 波幅平均后进行统计。关于 PCA-P300，与原始 P300 一致，在前中部的 F1，Fz，F2，FC1，FCz，FC2，C1，Cz 和 C2 九个电极点上，选择 300~600 ms 的平均波幅作为 PCA-FRN 波幅。同样为减少假阳性，将这九个点的 PCA-P300 波幅平均后进行统计。PCA-FRN 和 PCA-P300 波幅的统计，均执行机会条件和实际结果的两因素重复测量方差分析。

表 1 提取选定的 PCA 因子

PCA 因子	成分	时程峰值点（ms）	空间峰值点	变异解释量（%）
TF2/SF1	FRN	268	FCz	12.49
TF3/SF1	P300	466	FCz	9.57

注：SF =空间因素，TF =时程因素

在所有的数据分析中，如违背球形检验，根据 Greenhouse-Geisser 方法对 *F* 检验的 *p* 值进行偏差矫正。显著效应的事后检验使用 Bonferroni 方法进行校正。所有的统计分析，均在 JASP (https://jasp-stats.org)软件中完成。用 η_p^2 作为测量方差分析效应量大小的指标，值分别为 0.01、0.06 和 0.14 时被认为是小效应、中效应和大效应 (Cohen, 1988)。

3 结果

3.1 行为结果

表 2 展示了对公平感和愉悦感评分的 2 (评估阶段：反馈前、反馈后) × 3 (机会条件：AI、OE、DI) × 3 (实际结果：赢、平局、输)三因素重复测量方差分析的结果。表 3 展示了九种条件反馈前后的公平感和愉悦感评分。

公平感。评估阶段、机会条件和实际结果的三阶交互作用不显著。反馈阶段和机会条件的交互作用不显著。机会条件和实际结果的交互作用不显著。反馈阶段和实际结果的交互作用显著（表 2)。合并机会条件后，实际结果进入进一步分析，统计结果显示：当被试赢时，反馈阶段的主效应显著，F (1, 30) = 7.67, p = 0.01, η_ρ^2 = 0.20。反馈后的公平感评分显著高于反馈前（p = 0.01)；当平局和被试输时，反馈阶段的主效应不显著（平局: F (1, 30) = 2.52, p = 0.12, η_ρ^2 = 0.08; 输: F (1, 30) = 2.00, p = 0.17, η_ρ^2 = 0.06)。反馈阶段进入进一步分析，统计结果显示：反馈前，实际结果的主效应不显著，F (2, 60) = 0.02, p = 0.98, η_ρ^2 = 0.001。反馈后，实际结果的主效应显著，F (2, 60) = 6.10, p = 0.004, η_ρ^2 = 0.17。输诱发的公平感评分显著低于赢和平局（$ps < 0.05$)，但赢和平局诱发的公平感之间的差异不显著（p = 0.99)。机会条件的主效应显著，F (2, 60) = 46.39, $p < 0.001$, η_ρ^2 = 0.61。OE 的公平感评分显著高于 AI (p < 0.001)和 DI (p < 0.001)，且 AI 的公平感评分显著高于 DI (p = 0.016)。

愉悦感。评估阶段、机会条件和实际结果的三阶交互作用不显著。机会条件和实际结果的交互作用呈边缘显著（表 2)。合并反馈阶段后，当机会条件进入进一步分析，统计结果显示：当被试赢和平局时，机会条件的主效应显著（赢: F (2, 60) = 26.13, $p < 0.001$, η_ρ^2 = 0.47; 平局: F (2, 60) = 19.26, $p < 0.001$, η_ρ^2 = 0.39)。OE 的愉悦感评分显著高于 AI ($ps < 0.05$)和 DI ($ps < 0.001$)，且 AI 的愉悦感评分显著高于 DI ($ps < 0.05$)。当被试输时，机会条件的主效应显著，F (2, 60) = 7.08, p = 0.003, η_ρ^2 = 0.19。OE (p = 0.004)和 AI (p = 0.018)的愉悦感评分显著高于 DI，但 OE 和 AI 之间的差异不显著（p = 0.79)。当实际结果进入进一步分析，统计结果显示：在 AI 和 DI 条件下，实际结果的主效应显著（AI: F (2, 60) = 14.49, $p < 0.001$, η_ρ^2 = 0.33; DI: F(2, 60) = 12.46, $p < 0.001$, η_ρ^2 = 0.29)。赢的愉悦感评分显著高于平局（$ps < 0.01$)和输（$ps < 0.001$)，但平局和输之间的差异不显著（$ps > 0.43$)。在 OE 条件下，实际结果的主效应显著，F (2, 60) = 41.12, $p < 0.001$, η_ρ^2 = 0.58。赢的愉悦感评分也显著高于平局（$p < 0.001$)和输（$p < 0.001$)，且平局的愉悦感评分显著高于输（$p < 0.001$)。

反馈阶段和机会条件的交互作用显著（表 2）。合并实际结果条件后，机会条件进入进一步分析，统计结果显示：反馈前，机会条件的主效应显著, *F* (2, 60) = 27.74, $p < 0.001$, η_ρ^2 = 0.48。OE 的愉悦感评分高于 AI (p = 0.017)和 DI ($p < 0.001$), 且 AI 的愉悦感评分显著高于 DI($p < 0.001$)。反馈后，机会条件的主效应显著，*F* (2, 60) = 7.59, p = 0.001, η_ρ^2 = 0.20。OE 的愉悦感评分显著高于 DI (p = 0.002),但 OE 和 AI,AI 和 DI 之间的差异不显著（$ps > 0.10$)。当反馈阶段进入进一步分析，统计结果显示：对于 AI，反馈阶段的主效应不显著，*F* (1, 30) = 0.95, p = 0.34, η_ρ^2 = 0.03；对于 OE，反馈阶段的主效应显著，*F* (1, 30) = 20.70, $p < 0.001$, η_ρ^2 = 0.41。反馈前的愉悦感评分显著高于反馈后的愉悦感评分（$p < 0.001$)；对于 DI，反馈阶段的主效应显著，*F* (1, 30) = 11.34, p = 0.002, η_ρ^2 = 0.27。反馈后的愉悦感评分显著高于反馈前的愉悦感评分（p = 0.002)。

反馈阶段和实际结果的交互作用显著（表 2)。当实际结果进入简单效应分析，统计结果显示，反馈前，实际结果的主效应不显著，*F* (2, 60) = 1.26, p = 0.29, η_ρ^2 = 0.04。反馈后，实际结果的主效应显著，*F* (2, 60) = 58.07, $p < 0.001$, η_ρ^2 = 0.66。赢的愉悦感评分显著高于平局和输（$ps < 0.001$)，且平局的愉悦感评分显著高于输（$p < 0.001$)。当反馈阶段进入简单效应分析，统计结果显示，对于赢，反馈阶段的主效应显著，*F* (1, 30) = 52.75, $p < 0.001$, η_ρ^2 = 0.64。反馈后的愉悦感评分显著高于反馈前的愉悦感评分（$p < 0.001$)；对于平局，反馈阶段的主效应不显著，*F* (1, 30) = 0.25, p = 0.62, η_ρ^2 = 0.01；对于输，反馈阶段的主效应显著，*F* (1, 30) = 40.21, $p < 0.001$, η_ρ^2 = 0.57。反馈前的愉悦感评分显著高于反馈后的愉悦感评分（p < 0.001)。

表 2 公平感和愉悦感评分结果

	公平感			愉悦感		
	F	*P*	η_ρ^2	*F*	*P*	η_ρ^2
反馈阶段	*F*(1, 30) = 2.01	0.17	0.06	*F*(1, 30) = 0.91	0.35	0.03
机会条件	*F*(2, 60) = 46.39	**< 0.001**	0.61	*F*(2, 60) = 23.65	**< 0.001**	0.44
实际结果	*F*(2, 60) = 3.01	**0.059**	0.09	*F*(2, 60) = 41.58	**< 0.001**	0.58
反馈阶段 × 机会条件	*F*(2, 60) = 2.32	0.11	0.07	*F*(2, 60) = 13.08	**< 0.001**	0.30
反馈阶段 × 实际结果	*F*(2, 60) = 4.20	**0.021**	0.12	*F*(2, 60) = 45.24	**< 0.001**	0.60
机会条件 × 实际结果	*F*(4, 120) = 0.88	0.47	0.03	*F*(4, 120) = 2.27	**0.079**	0.07

反馈阶段 × 机会条件 × 实际结果	*F*(4, 120) = 1.97	0.11	0.06	*F*(4, 120) = 0.63	0.59	0.02

表 3 九种条件反馈前后的公平感和愉悦感评分[*M* (*SE*)]

		AI-W	OE-W	DI-W	AI-D	OE-D	DI-D	AI-L	OE-L	DI-L
公平感	反馈前	3.45(0.23)	5.03(0.25)	2.84(0.25)	3.45(0.28)	5.03(0.26)	2.77(0.27)	3.32(0.21)	5.00(0.26)	3.03(0.23)
评分	反馈后	3.48(0.28)	5.39(0.22)	3.65(0.28)	3.65(0.25)	5.13(0.27)	3.35(0.25)	3.45(0.23)	4.45(0.29)	2.65(0.26)
愉悦感	反馈前	4.03(0.24)	4.77(0.20)	2.65(0.22)	3.68(0.25)	4.71(0.23)	2.58(0.19)	3.90(0.22)	4.52(0.25)	3.10(0.20)
评分	反馈后	4.84(0.21)	5.39(0.16)	4.39(0.28)	3.48(0.22)	3.97(0.26)	3.26(0.22)	2.71(0.24)	2.74(0.29)	2.29(0.19)

3.2 传统 ERP 分析结果

图 2 展示了原始 FRN 和原始 P300 在九种条件下的波形图、地形图。表 3 展示了原始波 FRN 和 P300 波幅的统计结果。

3.2.1 FRN

结果显示，机会条件和实际结果的交互作用显著 (表 3)。当机会条件进入进一步分析，结果显示，当被试赢时，机会条件的主效应不显著，F (2, 60) = 0.59, p = 0.53, $\eta_\rho^2 = 0.02$；当平局时，机会条件的主效应显著，F (2, 60) = 4.26, p = 0.024, $\eta_\rho^2 = 0.12$。OE 比 AI 诱发了更负的 FRN 波幅 (p = 0.01)，但 OE 和 DI (p = 0.99)，AI 和 DI 之间的差异不显著 (p = 0.11)；当被试输时，机会条件的主效应显著，F (2, 60) = 4.61, p = 0.014, $\eta_\rho^2 = 0.13$。DI 比 OE 诱发了更负的 FRN 波幅 (p = 0.022)，AI 比 OE 诱发了更负的 FRN 波幅，两者之间的差异达到边缘显著性水平 (p = 0.062)，但 AI 和 DI 之间的差异不显著 (p = 0.99)。

当实际结果进入进一步分析，结果显示，在有利机会不公平条件下，实际结果的主效应显著，F (2, 60) = 16.65, $p < 0.001$, $\eta_\rho^2 = 0.36$。平局 (p = 0.004)和输 ($p < 0.001$)比赢诱发了更负的 FRN 波幅，且输比平局诱发的 FRN 波幅更负 (p = 0.042)；在机会公平条件下，实际结果的主效应显著，F (2, 60) = 15.61, $p < 0.001$, $\eta_\rho^2 = 0.34$。平局 ($p < 0.001$)和输 (p = 0.019)比赢诱发了更负的 FRN 波幅，且平局比输诱发的 FRN 波幅更负，两者之间的差异达到边缘显著性水平 (p = 0.072)；在不利机会不公平条件下，实际结果的主效应显著，F (2, 60) = 11.94, $p < 0.001$, $\eta_\rho^2 = 0.28$。平局 (p = 0.005)和输 ($p < 0.001$)比赢诱发了更负的 FRN 波幅，但平局和输之间的差异不显著 (p = 0.99)。

3.2.2 P300

机会条件和实际结果的交互作用不显著。机会条件的主效应呈边缘显著 (表 4)。事后比较显示，三种机会条件诱发的 P300 波幅之间无显著差异。实际结果的主效应显著 (表 4)。平局诱发的 P300 波幅显著大于输 ($p = 0.027$)，但平局和赢 ($p = 0.99$)，输和赢之间的差异不显著 ($p = 0.11$)。

表 4 FRN、P300、PCA-FRN、PCA-P300 统计结果

	机会条件			实际结果			机会条件 × 实际结果		
	F (2, 60)	P	η_ρ^2	F (2, 60)	P	η_ρ^2	F (4, 120)	P	η_ρ^2
FRN	2.06	0.14	0.06	22.61	< **0.001**	0.43	3.99	**0.007**	0.12
P300	2.79	**0.071**	0.09	3.80	**0.03**	0.11	1.55	0.21	0.05
PCA-FRN	1.39	0.26	0.04	16.42	< **0.001**	0.35	3.64	**0.012**	0.11
PCA-P300	1.31	0.28	0.04	5.37	**0.009**	0.15	0.37	0.81	0.01

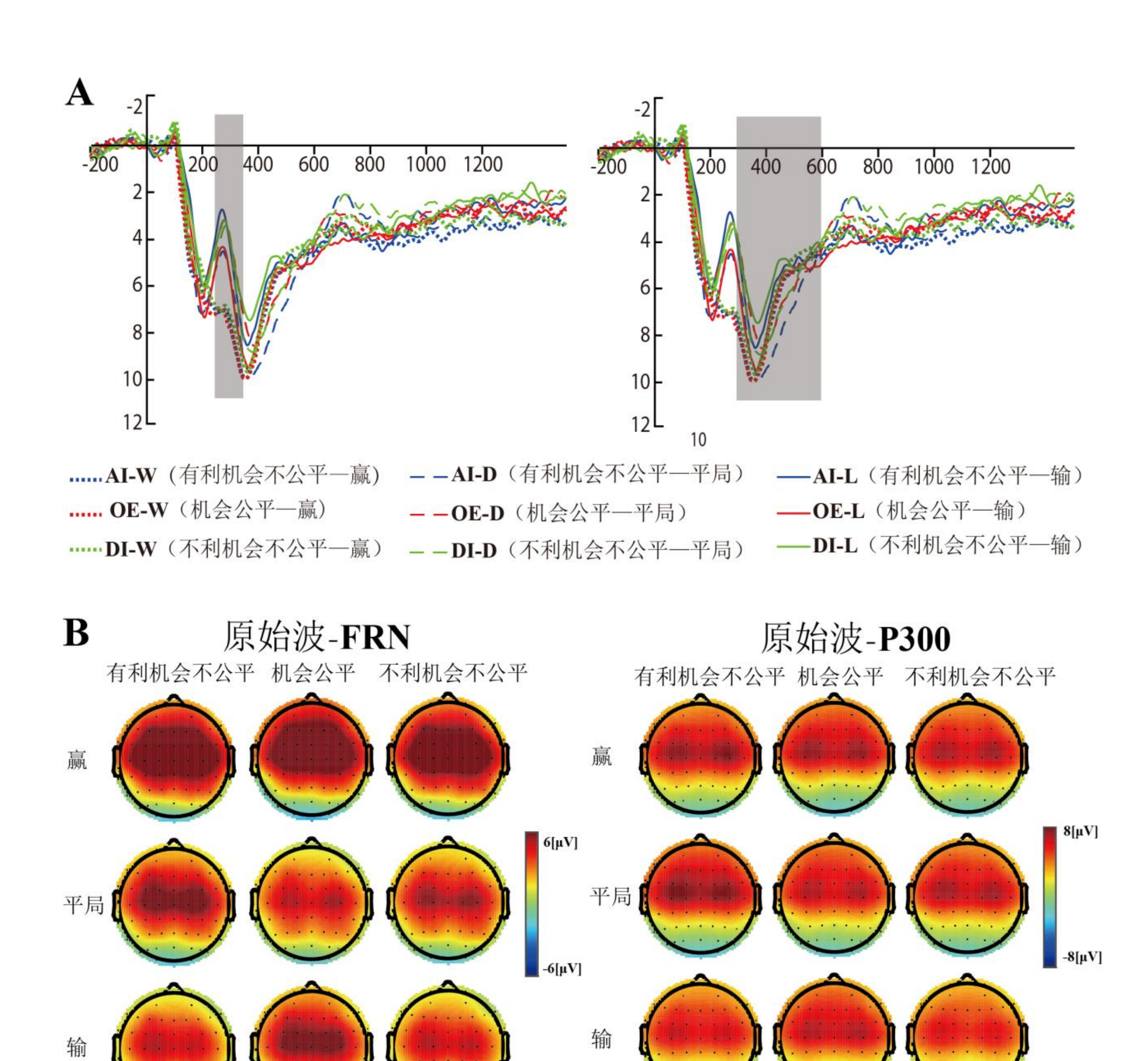


图 2 原始 FRN 和原始 P300 在九种条件下的波形图、地形图、波幅的平均值及标准差。(A) 九种条件在九个电极点合并为一个电极点上的 FRN 和 P300 的波形图；(B) 九种条件在 240~340ms 时间窗内的 FRN 地形图和在 300~600ms 时间窗内的 P300 地形图。彩色图见电子版。

3.3 PCA-ERP 分析结果

图 3 展示了 PCA-FRN 和 PCA-300 在不同条件下的波形图、地形图、波幅的平均值及标准误。表 3 展示了 PCA-FRN 和 PCA-P300 波幅的统计结果。

3.3.1 PCA-FRN

根据所有时间和空间因子的平均碎石图，选择时间因子 2 和空间因子 1 (表 1)。统计结果显示，机会条件和实际结果的交互作用显著 (表 4)。当机会条件进入进一步分析，结果显示，当被试赢时，机会条件的主效应不显著，F (2, 60) = 0.60, p = 0.54, η_p^2 = 0.02；当平局时，

机会条件的主效应显著，F (2, 60) = 3.32, p = 0.049, η_ρ^2 = 0.10。OE 比 AI 诱发了更负的 PCA-FRN 波幅 (p = 0.02)，但 OE 和 DI (p = 0.99)，AI 和 DI 之间的差异不显著(p = 0.36)；当被试输时，机会条件的主效应显著，F (2, 60) = 4.33, p = 0.019, η_ρ^2 = 0.13。DI 比 OE 诱发了更负的 PCA-FRN 波幅 (p = 0.017)，AI 比 OE 诱发了更负的 PCA-FRN 波幅，两者之间的差异达到统计边缘显著性水平 (p = 0.074)，但 AI 和 DI 之间的差异不显著(p = 0.99)。

当实际结果进入进一步分析，结果显示，在有利机会不公平条件下，实际结果的主效应显著，F (2, 60) = 9.75, p = 0.001, η_ρ^2 = 0.25。平局 (p = 0.027)和输 (p = 0.002)比赢诱发了更负的 PCA-FRN 波幅，但平局和输之间的差异不显著 (p = 0.16)；在机会公平条件下，实际结果的主效应显著，F (2, 60) = 14.62, p < 0.001, η_ρ^2 = 0.33。平局 (p < 0.001)和输 (p = 0.033)比赢诱发了更负的 PCA-FRN 波幅，平局比输诱发了更负的 PCA-FRN 波幅，两者之间的差异达到统计边缘显著性水平 (p = 0.059)；在不利机会不公平条件下，实际结果的主效应显著，F(2, 60) = 9.75, p < 0.001, η_ρ^2 = 0.25。平局 (p = 0.008)和输 (p = 0.001)比赢诱发了更负的 PCA-FRN 波幅，但平局和输之间的差异不显著 (p = 0.99)。

3.3.2 PCA-P300

根据所有时间和空间因子的平均碎石图，选择时间因子 3 和空间因子 1 (表 1)。统计结果显示，机会条件和实际结果的交互作用不显著。机会条件的主效应不显著。实际结果的主效应显著 (表 2)。事后比较显示，平局诱发的 PCA-P300 波幅显著大于赢 (p = 0.028)和输 (p = 0.008)，但赢和输之间的差异没有达到显著性水平 (p = 0.99)。

3.4 行为结果与 ERP 结果的相关

对九种条件的行为数据 (公平感和愉悦感)和 ERP 数据 (FRN、P300、PCA-FRN、PCA-P300)进行皮尔逊相关分析，结果发现：在机会公平时被试赢 (OE-W)条件下，主观公平感评分与 P300 波幅存在边缘显著正相关 (r = 0.32, p = 0.075)，主观愉悦感评分与 P300 波幅存在显著正相关 (r = 0.37, p = 0.039)，主观公平感评分与愉悦感评分 PCA-P300 波幅存在边缘显著正相关 (公平: r = 0.35, p = 0.056; 愉悦: r = 0.32, p = 0.079)；在有利不公平时平局(AI-D)条件下，主观愉悦感评分与PCA-P300波幅存在边缘显著正相关 (r = 0.31, p = 0.086)。经 FDR (false positive rate)校正后，没有相关达到显著性水平。

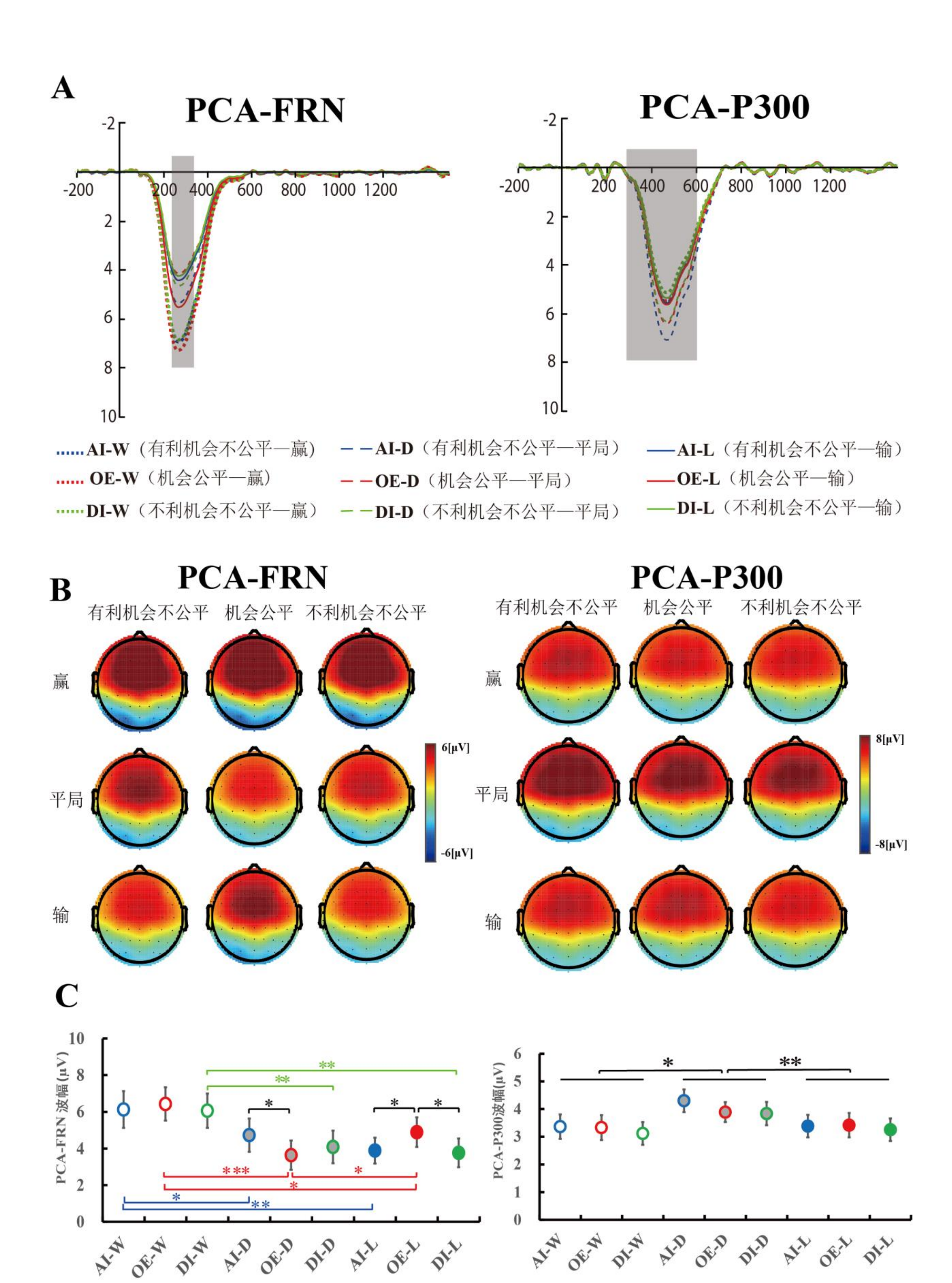


图 3　PCA-FRN 和 PCA-P300 在九种条件下的波形图、地形图、波幅的平均值及标准差。(A)九种条件在九个电极点合并为一个电极点后的 FRN 和 P300 的波形图；(B) 九种条件在 240~340ms 时间窗内的 PCA-FRN 地形图和在 300~600ms 时间窗内的 PCA-P300 地形图；(C)在 240~340ms 时间窗内，九种条件在九个电极点合并为一个电极点后的 PCA-FRN 波幅的平均值及标准误和在 300~600ms 时间窗内，九种条件

在九个电极点合并为一个电极点后的 PCA-P300 波幅的平均值及标准误。 $*p < 0.08$; $**p < 0.01$。彩色图见电子版。

4 讨论

本研究采用 ERPs 技术，进一步在竞争性社会背景下，探究机会公平对个体实际结果评价的影响。行为结果显示，机会公平对个体实际结果评价的影响表现在愉悦感上。ERPs 的结果显示，机会公平对个体实际结果评价的影响表现在 FRN 波幅上，而不表现在 P300 波幅上。这些结果表明，机会公平影响个体对实际结果的评价，主要表现在早期认知加工阶段。

行为结果显示，机会公平对个人实际结果评价的影响体现在愉悦感评分上。在愉悦感评分上，机会公平和个人实际结果的交互作用显著。无论个体实际结果是赢、平局还是输，DI 的愉悦感评分均低于 AI 和 OE，这一结果与 Long 等 (2018)一致，表明当个体的机会数被限制时，会引起强烈的不愉快 (Long et al., 2018; Bown et al., 2003)。这一结果拓展了不公平厌恶理论，表明与结果不公平类似，不利不公平也会引起被试的厌恶 (Yang et al., 2022)。在三种机会条件下，赢的愉悦感评分均高于平局和输。在 AI 和 DI 条件下，平局和输的愉悦感评分之间的差异不显著，这与我们的预测一致，因为以往关于平局的研究发现，人们对平局反应与输类似 (Dyson et al., 2020; Holroyd et al., 2006)。但与我们预测不一致的是，在 OE 条件下，平局的愉悦感评分显著高于输，可能的原因是机会公平且结果也公平是人们倾向的目标，因而在机会公平条件下，平局的愉悦感评分显著高于输。我们的研究也进一步发现，反馈阶段和实际结果的交互作用显著，当被试赢时，反馈后的愉悦感评分显著高于反馈前的愉悦感评分，当被试输时，反馈前的愉悦感评分显著高于反馈后的愉悦感评分，表明当被试赢和输时，反馈后的个人实际结果反馈会遮蔽反馈前机会公平效应。Yang 等(2022)的研究也发现，相对于机会公平，个体更注重个人实际结果反馈。与我们预测不一致的是，对于平局，反馈前后的愉悦感评分无显著差异，可能的原因是平局没有实际的损失和收益，因此反馈前后的愉悦感无变化。

机会公平影响个人实际结果评价体现在 FRN 波幅上。原始 FRN 和 PCA-FRN 结果均显示，机会条件与实际结果存在交互作用。然而在 Long 等 (2018)的 FRN 结果中，没有发现机会条件和实际结果的交互作用。这种不一致可能是由于在 Long 等(2022)的研究中存在一些局限导致的。在实验设计方面，Long 等 (2018)的研究没有控制主观预期与实际结果的不一致 (Yang et al., 2022)，也没有控制被试机会数量的改变对结果评价的影响 (Zhang et al.,

2021; Long et al., 2022)。在 ERP 测量方面，他们没有控制 FRN 与 P300 的重叠。

在三种机会条件下，输和平局均比赢诱发了更负的 FRN 和 PCA-FRN 波幅，这与已有的研究结果一致 (Dyson et al., 2020; Funkhouser et al., 2020; Hajcak et al., 2006; Holroy et al., 2006; Huang & Yu, 2014; Kujawa et al., 2013; Li et al., 2016; Müller et al., 2005)。在 AI 和 DI 条件下，输和平局诱发的原始 FRN 和 PCA-FRN 波幅均无显著差异，这与以往的研究结果一致 (Dyson et al., 2020; Hajcak et al., 2006; Holroy et al., 2006; Kujawa et al., 2013)，表明 FRN 反映的是实际结果好坏的快速二分判断 (Hajcak et al., 2006; Janssen et al., 2016)。在 OE 条件下，平局比输诱发了更大的原始 FRN 和 PCA-FRN 波幅。以往的研究发现，FRN 受到动机凸显的影响，通常意外结果引起的 FRN 波幅更负(Wang et al., 2022; Hauser et al., 2014; Stewardson & Sambrook, 2023）。在我们的研究中，机会公平时平局出现的概率为九分之一，而其他的八种条件都带有机会或结果的不平等，被试可能对这一小概率事件感到惊讶，因此，在 OE 条件下，平局诱发的 FRN 波幅比输更大。这一假设也得到了以往文献的支持。例如，在 Müller 等 (2005)的研究中，正性、中性和负性反馈的比例为 5:2:5，中性反馈为小概率刺激，因此，在他们的研究中，中性反馈比负性反馈诱发了更大的 FRN 波幅。

当被试赢时，三种机会条件诱发的原始 FRN 和 PCA-FRN 波幅无显著差异。当被试赢时，被试达到了目的，而赢家不抱怨竞争环境的公平性 (Xie et al., 2022; Hansson et al., 2021)。因此，三种机会条件诱发的原始 FRN 和 PCA-FRN 波幅无显著差异。当平局时，OE 比 AI 诱发了更负的 PCA-FRN 波幅。如前所述，FRN 受凸显预期错误的影响，通常小概率事件引起的 FRN 波幅更负 (Huang & Yu, 2014; Müller et al., 2005)。机会公平且结果也公平在实验任务中属小概率事件，因此诱发了更大的 FRN 和 PCA-FRN 波幅。当被试输时，AI 和 DI 比 OE 诱发了更负的原始 FRN 和 PCA-FRN 波幅，但 AI 和 DI 之间的差异不显著。以往的研究结果表明，当被试输时，寻求公平的欲望更加强烈 (Hansson et al., 2021; Trautmann & van de Kuilen, 2016)。FRN 作为偏离公平规范的指标，对公平违反特别敏感 (Hu & Mai, 2021; Liu et al., 2022; Rodrigues et al., 2022)。有研究表明，违反社会规范 (即不公平分配方案)可能比遵守社会规范 (即公平分配)引起更大的 FRN 波幅 (Massi & Luhmann, 2015; Kaltwasser et al., 2016)。因此，在我们的研究中，当被试输时，不公平机会条件 (有利机会不公平和不利机会不公平条件)比机会公平条件诱发了更大的原始 FRN 和 PCA-FRN 波幅，表明当被试输时，人们会对机会不公平更加敏感。在以往研究结果公平的文献中，也观察到类似的 FRN 模式，即结果不公平比结果公平诱发了更负的 FRN 波幅 (Hu & Mai, 2021; Liu, et al., 2022; Rodrigues et al., 2022)，这表明在某些情况下，机会公平和结果公平可能有类似的心理基础。

FRN 的另一种理论解释是，FRN 反映的是情绪系统的活动，特别是积极情绪的启动效应，即先前的赢会使下一次赢诱发更正的 FRN 波幅 (Mushtaq et al., 2016)。根据这种假说，有利不公平和公平条件下 (积极情绪)的赢会比不利不公平条件下的赢诱发更正的 FRN 波幅。这与本研究的结果并不一致，在本研究中，三种机会条件下的赢诱发的原始 FRN 和 PCA-FRN 波幅之间差异均不显著，表明本研究中，FRN 主要不是情绪系统的活动。

机会公平对个人实际结果评价的影响不体现在 P300 波幅上，无论是原始 P300 还是 PCA-P300 波幅，机会公平与实际结果之间不存在显著的交互作用。不同机会条件诱发的原始 P300 与 PCA-P300 波幅差异均不显著。这与 Long 等(2022)的研究结果一致 (见补充材料)。然而，这一结果与 Long 等 (2018)的结果不一致。如前所述，产生不一致的原因可能是 Long 等 (2018)的实验设计和数据处理方面的局限导致的。PCA-P300 结果显示，平局诱发的 PCA-P300 波幅大于赢和输，但赢和输之间的差异不显著。这表明在后期加工阶段，P300 波幅主要受个体实际结果的调节。P300 可以被一系列因素调节：动机 (Hajcak & Foti, 2020)、反馈效价和大小 (Wu & Zhou, 2009)、注意 (Polich, 2007)、情绪 (Hajcak et al., 2010)和任务相关性 (Kok, 2001)。Yang 等(2022)提出的“人们对结果公平的关注强于机会公平”，被试更重视结果公平，因此，被试对平局（结果公平）投入了更多的注意，诱发了比输和赢更大的 PCA-P300 波幅。这一假设与已有的文献一致。先前的研究表明，P300 波幅与注意力分配和高水平动机/情感显著性有关，对个体更有意义和投入了更多注意的结果，会诱发更大的 P300 波幅 (Hajcak & Foti, 2020)。

本研究的结果存在一些理论上的贡献。首先，本研究结果进一步支持了 Yang 等 (2022)提出的“人们对结果公平的关注强于机会公平”的假说。Aoki 等 (2014)仅揭示了机会不公平与机会公平条件的脑空间激活上存在显著差异，没有进一步研究揭示机会公平如何影响后续的个人实际结果的评价。本研究通过测量机会公平对个人实际结果评价的 ERP 反应，揭示了机会公平是否以及如何影响个人实际结果的评价过程。本研究结果与 Long 等 (2022)的结果表明，无论是竞争性社会背景还是非竞争社会背景，机会公平都只影响个人实际结果的早期阶段，不影响晚期阶段。机会公平影响结果评价的早期阶段，表明在结果评价的早期阶段，人们存在机会公平的敏感性。然而，机会公平不影响个人实际结果评价的晚期阶段，表明人们在结果评价的晚期阶段更关注实际结果本身。同时，在本研究中，公平的结果 (平局)比不公平的结果 (无论是输还是赢)诱发了更大的 PCA-P300 波幅，进一步表明人们更重视结果公平，这为 Yang 等(2022)提出的“人们对结果公平的关注强于机会公平”的假说提供了进一步的证据。其次，本研究可以拓展对公平领域的理解。公平领域的一个重要的辩论

是公平判断的直觉反应是公平本身还是自己的利益。一些研究者认为公平本身是直觉；进行公平判断时，先判断是否符合社会的规范，然后再整合自己的利益和社会规则 (Rand, 2016; Hallsson et al., 2018)。另一些研究者则认为进行公平判断时，自己的利益是直觉；然后再抑制自己的利益，根据社会规则做出判断 (Long et al. 2022; Yoder & Decety, 2020)。在本研究中，当被试赢时，三种机会公平条件诱发的 FRN 差异不显著，这表明被试赢时，自己的利益已经达成。而在被试输时，自己的利益受损，被试可能需要对结果进行进一步的加工 (例如，为自己的损失寻找理由) ，因而对公平更敏感，反映在 FRN 波幅差异上。这些结果表明在公平判断时，自己的利益是直觉的反应，支持自我利益优先的假设。

本研究的结果存在潜在的应用价值。本研究发现，在被试输时，被试对机会公平敏感，表明在实际生活中，对处境不利的人群，应更加重视其机会公平感。

本研究也存在一些局限性。首先，我们的研究没有捕获到机会条件和个人实际结果在公平感方面的交互作用，这与 Yang 等 (2022)的研究不一致。可能的原因是，在 Yang 等 (2022)的研究中，他们要求被试逐次评每个试次的公平感，而我们的研究仅脑电实验结束后对每个条件进行了一次评价。与我们的研究相比，Yang 等 (2022)的结果更为稳定。但是，在我们的研究中，发现反馈阶段和实际结果的交互作用显著，这与 Yang 等 (2022)的结果一致。在我们的研究中，当被试赢时，反馈后的公平感评分显著高于反馈前，当被试输时，反馈前后的公平感评分无差异，这与 Yang 等 (2022)的研究结果一致。Yang 等 (2022)的结果表明，只要被试赢了，反馈后的公平感显著高于反馈前；当被试输了而对手赢了时，反馈前后公平感评级没有显著变化。与我们预测不一致的是，当平局时，反馈前后的公平感评分无显著差异。在 Yang 等 (2022)的研究结果中，当被试赢了对手也赢了，或者当被试输了对手也输了，此时，反馈后的公平感也显著高于反馈前。出现差异的可能原因是，平局是双方没有损失，也没有收益，并不是双方的结果一样，因此，反馈前后的公平感评分无显著差异。同时，我们的研究也发现，对于公平感评分，OE 的公平感评分最高，AI 次之，DI 的公平感评分最低。这与 Long 等 (2018)的结果一致，表明人们偏好机会公平。

其次，原始 P300 和 PCA-P300 波幅统计结果不一致。在原始波 P300 中，仅发现平局诱发的 P300 波幅显著大于输；但 PCA-P300 结果显示，平局诱发的 PCA-P300 波幅显著大于赢和输，赢和输之间的差异不显著。原始 ERP 和 PCA-ERP 结果产生差异的原因可能是因为测量方法的不同。先前的研究也发现，原始 ERP 成分和 PCA 之后的 ERP 成分统计结果有时会不一致 (Zhang et al., 2021; Gheza, Paul et al., 2018; Gheza, Raedt et al., 2018; Krigolson, 2018)。因此，未来的研究应在结果处理过程中考虑 ERP 测量方法问题。由于 PCA 分析能

更好的控制成分重叠 (Dien, 2010; Krigolson, 2018)，因此我们更偏好 PCA-P300 的统计结果。

最后，本研究的实验任务与大多数研究相似，采用的经济领域的赌博范式。未来的研究可以在其他领域研究机会公平感知对行为的影响，比如在工作、娱乐、社交、选举等情景中，机会公平对人们行为模式的影响。

5 结论

本研究采用 ERPs 技术，探究在竞争性社会情境中，机会公平影响个人实际结果评价的时间加工进程。行为结果发现，OE 的公平感评分最高，AI 次之，DI 的公平感评分最低，表明个体追求机会公平。同时，对于愉悦感评分，机会条件和实际结果的交互作用显著，表明，机会公平会影响个人实际结果评价。对个体实际结果出现后诱发的 ERP 反应进行分析，发现无论是原始 FRN 还是 PCA-FRN 波幅，机会条件和实际结果的交互作用显著。当被试赢时，三种机会条件诱发的原始 FRN 和 PCA-FRN 波幅无显著差异，表明被试达到了目标；当平局时，OE 比 AI 诱发了更负的原始 FRN 和 PCA-FRN 波幅，表明机会公平结果也公平这一小概率事件诱发了凸显的预期错误；当被试输时，AI 和 DI 比 OE 诱发了更负的 PCA-FRN 波幅，表明当被试输时，对机会不公平更加敏感。这些结果表明，机会公平在认知加工的早期阶段影响个体实际结果的评价，对处境不利的群体，应该更重视其机会公平感的获得。同时，研究也发现，关于 P300，仅实际结果诱发的 PCA-P300 波幅差异显著，平局比输和赢诱发了更大的 PCA-P300 波幅，这表明在个体实际结果评价的晚期加工阶段，更重视结果公平，对公平的结果投入了更多的注意资源。这些结果支持了“人们对结果公平的关注强于机会公平”这一假说。

参 考 文 献

Aoki, R., Matsumoto, M., Yomogida, Y., Izuma, K., Murayama, K., Sugiura, A., et al. (2014). Social equality in the number of choice options is represented in the ventromedial prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience*, *34*(18), 6413–6421.

Aoki, R., Yomogida, Y., & Matsumoto, K. (2015). The neural bases for valuing social equality. *Neuroscience Research*, *90*, 33–40.

Bown, N. J., Read, D., & Summers, B. (2003). The lure of choice. *Journal of Behavioral Decision Making*, *16*(4), 297–308.

Chen, T., Tang, R., Yang, X., Peng, M., & Cai, M. (2023). Moral transgression modulates fairness considerations in

the ultimatum game: evidence from ERP and EEG data. *International Journal of Psychophysiology*, *188*, 1–11.

Cohen,J. (1988).Statistical power analysis for the behavioral sciences. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.

Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB:An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, *134*(1), 9–21.

Dien, J. (2010). Evaluating two-step PCA of ERP data with Geomin, Infomax, Oblimin, Promax, and Varimax rotations. *Psychophysiology*, *47*(1), 170–183.

Dien, J., Beal, D. J., & Berg, P. (2005). Optimizing principal components analysis of event-related potentials: Matrix type, factor loading weighting, extraction, and rotations. *Clinical Neurophysiology*, *116*(8), 1808–1825.

Dyson, B. J., Steward, B. A., Meneghetti, T., & Forder, L. (2020). Behavioural and neural limits in competitive decision making: the roles of outcome, opponency and observation. *Biological Psychology*, *149*, 107778.

Feng, C., Luo, Y. J., & Krueger, F. (2015). Neural signatures of fairness-related normative decision making in the ultimatum game: a coordinate-based meta-analysis. *Human Brain Mapping*, *36*(2), 591–602.

Funkhouser, C. J., Auerbach, R. P., Kujawa, A., Morelli, S. A., Phan, K. L., & Shankman, S. A. (2020). Social feedback valence differentially modulates the reward positivity, P300, and late positive potential. *Journal of Psychophysiology*, *34*, 255–267.

Gheza, D., Paul, K., & Pourtois, G. (2018). Dissociable effects of reward and expectancy during evaluative feedback processing revealed by topographic ERP mapping analysis. *International Journal of Psychophysiology*, *132*, 213–225.

Gheza, D., Raedt, R.D, Baeken, C., & Pourtois, G. (2018). Integration of reward with cost anticipation during performance monitoring revealed by ERPs and EEG spectral perturbations. *NeuroImage*, *173*, 153–164.

Hajcak, G., & Foti, D. (2020). Significance?...significance! empirical, methodological, and theoretical connections between the late positive potential and P300 as neural responses to stimulus significance: an integrative review. *Psychophysiology*, *57*(7), e13570.

Hajcak, G., MacNamara, A., & Olvet, D. M. (2010). Event-related potentials, emotion, and emotion regulation: an integrative review. *Developmental Neuropsychology*, *35*(2), 129–155.

Hajcak, G., Moser, J. S., Holroyd, C. B., & Simons, R. F. (2006). The feedback-related negativity reflects the binary evaluation of good versus bad outcomes. *Biological Psychology*, *71*(2), 148–154.

Hallsson, B. G., Siebner, H. R., & Hulme, O. J. (2018). Fairness, fast and slow: a review of dual process models of fairness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *89*, 49–60.

Hansson, K., Persson, E., Davidai, S., & Tinghög, G. (2021). Losing sense of fairness: how information about a level playing field reduces selfish behavior. *Journal of Economic Behavior and Organization*, *190*, 66–75.

Hauser, T. U., Iannaccone, R., Stampfli, P., Drechsler, R., Brandeis, D., Walitza, S., & Brem, S. (2014). The feedback-related negativity (FRN) revisited: new insights into the localization, meaning and network organization. *Neuroimage*, *84*, 159–168.

Holroyd, C. B., & Coles, M. G. H. (2002). The neural basis of human error processing: reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, *109*(4), 679–709.

Holroyd, C. B., Hajcak, G., & Larsen, J. T. (2006). The good, the bad and the neutral: electrophysiological responses to feedback stimuli. *Brain Research*, *1105*(1), 93–101.

Hu, X., & Mai, X. (2021). Social value orientation modulates fairness processing during social decision-making: evidence from behavior and brain potentials. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *16*(7), 670–682.

Huang, Y., & Yu, R. (2014). The feedback-related negativity reflects "more or less" prediction error in appetitive and aversive conditions. *Frontiers in Neuroscience*, *8*, 108.

Janssen, D. J. C., Poljac, E., & Bekkering, H. (2016). Binary sensitivity of theta activity for gain and loss when monitoring parametric prediction errors. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *11*(8), 1280–1289.

Judd, C. M., Westfall, J., & Kenny, D. A. (2017). Experiments with more than one random factor: designs, analytic models, and statistical power. *Annual Review of Psychology*, *68*(1), 601–625.

Kaltwasser, L., Hildebrandt, A., Wilhelm, O., & Sommer, W. (2016). Behavioral and neuronal determinants of negative reciprocity in the ultimatum game. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *11*(10), 1608–1617.

Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, *38*(3), 557–577.

Krigolson, O. E. (2018). Event-related brain potentials and the study of reward processing: methodological considerations. *International Journal of Psychophysiology*, *132*, 175–183.

Kujawa, A., Smith, E., Luhmann, C., & Hajcak, G. (2013). The feedback negativity reflects favorable compared to nonfavorable outcomes based on global, not local, alternatives. *Psychophysiology*, *50*(2), 134–138.

Leng, Y., & Zhou, X. (2010). Modulation of the brain activity in outcome evaluation by interpersonal relationship: an ERP study. *Neuropsychologia*, *48*(2), 448–455.

Li, P., Baker, T. E., Warren, C., & Li, H. (2016). Oscillatory profiles of positive, negative and neutral feedback

stimuli during adaptive decision making. *International Journal of Psychophysiology*, *107*, 37–43.

Li, P., Jia, S., Feng, T., Liu, Q., Suo, T., & Li, H. (2010). The influence of the diffusion of responsibility effect on outcome evaluations: electrophysiological evidence from an ERP study. *Neuroimage*, *52*(4), 1727–1733.

Liu, M., Zhou, J., Liu, Y., & Liu, S. (2022). The impact of social comparison and (un)fairness on upstream indirect reciprocity: evidence from ERP. *Neuropsychologia*, *177*, 108398.

Long, C., Hu, X., Qi, G., & Zhang, L. (2022). Self-interest is intuitive during opportunity (in)equity: evidence from multivariate pattern analysis of electroencephalography data. *Neuropsychologia*, *174*, 108343.

Long, C., Sun, Q., Jia, S., Li, P., & Chen, A. (2018). Give me a chance! sense of opportunity inequality affects brain responses to outcome evaluation in a social competitive context: an event-related potential study. *Frontiers in Human Neuroscience*, *12*, 135.

Lopez-Calderon, J., & Luck, S. J. (2014). ERPLAB: an open-source toolbox for the analysis of event-related potentials. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 213.

Luck, S. J., & Gaspelin, N. (2017). How to get statistically significant effects in any ERP experiment (and why you shouldn't). *Psychophysiology*, *54*(1), 146–157.

Luck, S. J. (2014). An introduction to the event-related potential technique, second edition. MITPress, Cambridge, MA.

Luo Y., Feng C., Gu R., Wu T., Luo Y. (2013). The fairness norm in social decision-making: Behavioral and neuroscience studies. *Advances in Psychological Science*, *21*(2), 300–308.

[罗艺，封春亮，古若雷，吴婷婷，罗跃嘉 (2013). 社会决策中的公平准则及其神经机制. *心理科学进展*, *21*(2), 300–308.]

Massi, B., & Luhmann, C. C. (2015). Fairness influences early signatures of reward-related neural processing. *Cognitive Affective Behavioral Neuroscience*. *15*(4), 768–775.

Müller, S. V., Möller, J., Rodriguez-Fornells, A., & Münte, T. F. (2005). Brain potentials related to self-generated and external information used for performance monitoring. *Clinical Neurophysiology*, *116*(1), 63–74.

Mushtaq, F., Wilkie, R. M., Monwilliams, M., & Schaefer, A. (2016). Randomised prior feedback modulates neural signals of outcome monitoring. *NeuroImage*, *125*, 868–879.

Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*(10), 2128–2148.

Qi, Y., Nan, W., Cai, H., Wu, H., & Liu, X. (2020). Empathy or schadenfreude? social value orientation and affective responses to gambling results. *Personality and Individual Differences*, *153*, 109619.

Rand, D.G., (2016). Cooperation, fast and slow: meta-analytic evidence for a theory of social heuristics and self-interested deliberation. *Psychological Science*, *27*(9), 1192–1206.

Rodrigues, J., Weiss, M., Mussel, P., & Hewig, J. (2022). On second thought horizontal ellipsis the influence of a second stage in the ultimatum game on decision behavior, electro-cortical correlates and their trait interrelation. *Psychophysiology*, *59*(7), e14023.

Sambrook, T. D., & Goslin, J. (2015). A neural reward prediction error revealed by a meta-analysis of ERPs using great grand averages. *Psychological Bulletin*, *141*(1), 213–235.

Stewardson, H. J., & Sambrook, T. D. (2023). Valence precedes value in neural encoding of prediction error. *Psychophysiology*, *60* (7), e14266.

Stolz, D. S., Muller-Pinzler, L., Krach, S., & Paulus, F. M. (2020). Internal control beliefs shape positive affect and associated neural dynamics during outcome valuation. *Nature Communications*, *11*(1), 1230.

Trautmann, S. T., & van de Kuilen, G. (2016). Process fairness, outcome fairness, and dynamic consistency: experimental evidence for risk and ambiguity. *Journal of Risk and Uncertainty*, *53*(2), 75–88.

Vicente, I., Pastor, J. M., & Soler, Á. (2021). Improving educational resilience in the OECD countries: two convergent paths. *Journal of Policy Modeling*, *43*(6), 1149–1166.

Wang, A., Zhu, L., Lyu, D., Cai, D., Ma, Q., & Jin, J. (2022). You are excusable! Neural correlates of economic neediness on empathic concern and fairness perception. *Cognitive Affective and Behavioral Neuroscience*, *22*(1), 99–111.

Westfall, J. (2016). PANGEA: Power ANalysis for GEneral Anova designs (Working paper). http://jakewestfall.org/publications/pangea.pdf.

Wu, Y., & Zhou, X. (2009). The P300 and reward valence, magnitude, and expectancy in outcome evaluation. *Brain Research*, *1286*, 114–122.

Xie, E., Liu, M., Liu, J., Gao, X., & Li, X. (2022). Neural mechanisms of the mood effects on third-party responses to injustice after unfair experiences. *Human Brain Mapping*. *43*(12), 3646–3661.

Yang, Z., Zheng, Y., Wang, C., Lai, X., Hu, K., Li, Q., & Liu, X. (2022). Fairness decision-making of opportunity equity in gain and loss contexts. *Journal of Experimental Social Psychology*, *98*, 104243.

Yoder, K. J., & Decety, J. (2020). Me first: Neural representations of fairness during threeparty interactions. *Neuropsychologia*, *147*, 107576.

Zhang, L., Qi, G., & Long, C. (2021). The choice levels modulate outcome processing during outcome independent of behavior selection: evidence from event-related potentials. *International Journal of*

Psychophysiology, *169*, 44–54.

Opportunity (in)equity affects outcome evaluation at an early cognitive stage: Evidence from event-related potentials

YOU Tingting, ZHANG Liping, QI Guomei, LONG Changquan

(*Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing* 400715, *China*)

Abstract

Opportunity equity is highly desired in human society. Previous studies have shown that opportunity (in)equity influences the evaluation of subsequent outcomes. However, it is unclear whether this influence occurs only at an early cognitive stage or extends to a late cognitive stage as well. Based on the notion that "people seem to be more committed to outcome equity than opportunity equity," we hypothesized that opportunity (in)equity would affect outcome evaluation at an early stage in the cognitive process, but not at a late stage. Additionally, we indicate how limitations in the experimental design and data analysis of previous studies may have affected their conclusions.

To examine the cognitive stage at which opportunity (in)equity influences outcome evaluations in a competitive social context, we recruited 31 college students (19 females, 19.52 ± 1.46 years) to participate in a competitive two-person choice game with their opponents. To account for the difference between subjective and objective predictions and the effect of varied choice numbers, we designed the game so that the participants had four cards in all trials. In contrast, their opponents randomly received two, four, or six cards in each trial, creating three opportunity conditions: advantageous opportunity inequity (AI), opportunity equity (OE), and disadvantageous opportunity inequity (DI). Both players selected only one card from the available options to compare their outcomes, which could result in a win, draw, or loss. Similar to previous studies, we recorded and analyzed event-related potential responses to actual outcomes, focusing on feedback-related negativity (FRN) and P300. We performed principal component analysis (PCA) to disentangle the overlap of FRN and P300.

The analysis of behavioral results of our study demonstrated a significant interaction between opportunities and outcomes in relation to subjective pleasantness rating scores, indicating that opportunity (in)equity indeed influenced outcome evaluation. Furthermore, we found a significant interaction between opportunities and outcomes for both the original and PCA-FRN amplitudes, indicating that opportunity (in)equity affected outcome evaluation at an early cognitive stage. Specifically, when participants experienced a win, there was no significant difference in the original and PCA-FRN amplitudes among the three opportunity conditions. In contrast, when

participants lost, AI and DI elicited more negative original and PCA-FRN amplitudes than OE, suggesting that participants were sensitive to opportunity equity in the context of loss. Moreover, we did not find a significant interaction between opportunities and outcomes, nor a main effect of opportunities, for either the original or PCA-P300 amplitudes. These results suggest that opportunity (in)equity did not have a significant influence on outcome evaluation at a late cognitive stage. Notably, draws elicited larger PCA-P300 amplitudes compared to wins and losses, indicating that participants were sensitive to outcome equity.

In conclusion, our study demonstrates that opportunity (in)equity influences outcome evaluation at an early cognitive stage but not at a late stage. These findings provide valuable insights into the intricate temporal dynamics of the interaction between opportunity equity and actual outcomes, and contribute to fostering a more equitable society.

Key words: equality, FRN, P300, principal component analysis